

Docket No.: WMP-IFT-842

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : FRANK KAHLMANN ET AL.
Filed : CONCURRENTLY HEREWITH
Title : INTEGRATED TRANSFORMER CONFIGURATION

CLAIM FOR PRIORITY

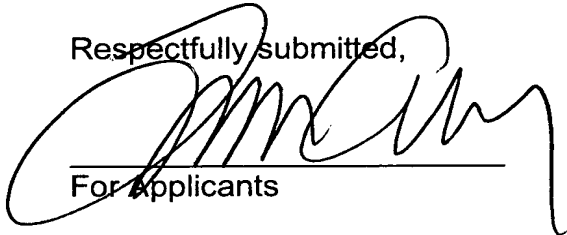
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 102 32 642.8, filed July 18, 2002.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,



For Applicants

LAURENCE A. GREENBERG
REG. NO. 29,308

Date: July 18, 2003

Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101

/kf



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 32 642.8

Anmeldetag: 18. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: Integrierte Transformatoranordnung

IPC: H 01 L 27/08

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. Juni 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'H' followed by a horizontal line and a small upward stroke.

Hofe

Beschreibung

Integrierte Transformatoranordnung

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine integrierte Transformatoranordnung gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

10 Eine derartige Transformatoranordnung ist beispielsweise in der GB 2173956 oder der DE 101 00 282.3 beschrieben.

15 Solche planaren Transformatoranordnungen finden in der Signalübertragung Anwendung, wenn es gilt ein durch eine Schaltungsanordnung erzeugtes Signal einer weiteren Schaltungsanordnung bei elektrischer Trennung der das Signal erzeugenden Schaltung und der das Signal weiter verarbeitende Schaltung zuzuführen.

20 Die beiden Spulen sind dabei elektrisch gegeneinander isoliert und benachbart zueinander angeordnet, um eine induktive Kopplung der beiden Spulen zu gewährleisten. Üblicherweise wird bei planaren integrierten Transformatoren kein Kern verwendet, weshalb diese Transformatoren auch als kernlose Transformatoren (coreless transformer) bezeichnet werden.

25
30 Maßgeblich für die Übertragungseigenschaften eines solchen Transformators ist die Zeitkonstante $\tau=L/R$ der primären Wicklung, die gegeben ist durch den Quotienten aus der Induktivität L und dem Wicklungswiderstand R , wobei sich die Effektivität der Übertragung mit zunehmender Zeitkonstante verbessert.

35 Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, eine integrierte Transformatoranordnung mit großer Zeitkonstante zur Verbesserung der Übertragungseffektivität zur Verfügung zu stellen.

Dieses Ziel wird durch eine Transformatoranordnung gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

5 Die integrierte Transformatoranordnung umfasst eine erste Spule, die aus einem spiralförmig verlaufenden elektrisch leitenden Material mit im wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt gebildet ist, und eine spiralförmig verlaufende zweiten Spule, wobei die erste und zweite Spule elektrisch iso-
10 liert gegeneinander angeordnet sind, und wobei das Verhältnis zwischen der Höhe und der Breite des rechteckförmigen Querschnitts der ersten Spule größer als 1 und vorzugsweise größer als 3 ist.

15 Das Verhältnis zwischen Höhe und Breite der im Querschnitt im wesentlichen rechteckförmigen ersten Spule wird auch als Aspektverhältnis bezeichnet.

Mit zunehmendem Aspektverhältnis vergrößert sich der Querschnitt der ersten Spule, so dass sich der Leitungswiderstand der ersten Spule verringert, woraus gemäß obiger Beziehung, wonach die Zeitkonstante $\tau = L/R$ ist, eine sich vergrößernde Zeitkonstante resultiert. Diese Vergrößerung der Zeitkonstante geht nicht zu Lasten des für die Spule benötigten Flächenbedarfs, da die Breite des spiralförmig verlaufenden, die Spule bildenden Leitermaterials beibehalten werden kann. In der Tiefe, in der sich die Abmessungen der Spule vergrößern, ist hingegen üblicherweise Platz vorhanden, da das Trägermaterial der planaren ersten und zweiten Spulen aus Stabilitätsgründen bestimmte Abmessungen nicht unterschreiten sollte.
25
30

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die erste Spule in einem ersten Graben in einem ersten Halbleiterkörper ausgebildet ist, wobei der Graben spiralförmig verläuft und sich in vertikaler Richtung in den Halbleiter-
35

körper hinein erstreckt. Für die Anordnung der zweiten Spule gibt es hierbei verschiedene Möglichkeiten.

5 Eine Ausführungsform sieht vor, die zweite Spule in oder auf einem zweiten Halbleiterkörper auszubilden, wobei der erste und zweite Halbleiterkörper übereinander und isoliert zueinander angeordnet sind. Die zweite Spule kann dabei in einer Isolationsschicht zwischen dem ersten und zweiten Halbleiterkörper oder in dem zweiten Halbleiterkörper ausgebildet sein.

10 Eine weitere Ausführungsform bezüglich der Anordnung der zweiten Spule sieht vor, die zweite Spule in einer Isolations-
schicht oberhalb des ersten Halbleiterkörper auszubilden, wobei die Isolationsschicht insbesondere Bestandteil einer
15 sogenannten Verdrahtungs- oder Metallisierungsebene sein kann. Eine solche zweite Spule ist mittels herkömmlicher Verfahrensschritte herstellbar, die bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen zur Realisierung von Verdrahtungen oberhalb eines Halbleiterkörpers bekannt sind.

20 Außerdem ist bei einer weiteren Ausführungsform vorgesehen, die zweite Spule oberhalb oder unterhalb der ersten Spule in einem Graben auszubilden, wobei die beiden Spulen mittels einer Isolationsschicht in dem Graben voneinander getrennt
25 sind.

Die zweite Spule kann aus demselben elektrisch leitenden Material wie die erste Spule, insbesondere aus Kupfer oder Aluminium, bestehen. Die zweite Spule kann auch aus einem stark
30 dotierten, und dadurch gut elektrisch leitenden, Halbleitermaterial bestehen, wobei dieses stark dotierte, die zweite Spule bildende Material vorzugsweise unterhalb des Grabens mit der ersten Spule oder in den Zwischenräumen des spiralförmig verlaufenden Grabens mit der ersten Spule ausgebildet
35 ist.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, die erste Spule in einer Isolationsschicht oberhalb eines Halbleiterkörpers auszubilden, wobei diese Isolationsschicht Bestandteil einer Verdrahtungs- oder Metallisierungsebene des Halbleiterkörpers sein kann, wobei in dem Halbleiterkörper beispielsweise Sender- und/oder Empfängerschaltungen integriert sind. Auch bei dieser Ausgestaltung der ersten Spule gibt es für die Realisierung der zweiten Spule verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten.

10

Bei einer Ausführungsform ist vorgesehen, dass auch die zweite Spule isoliert gegenüber dem Halbleiterkörper oberhalb des Halbleiterkörpers in der Isolationsschicht, vorzugsweise zwischen der ersten Spule und dem Halbleiterkörper, ausgebildet ist.

15

Bei einer weiteren Ausführungsform ist vorgesehen, dass die zweite Spule in dem Halbleiterkörper ausgebildet ist und vorzugsweise aus einem stark dotierten Halbleitermaterial besteht.

20

Eine weitere Ausführungsform bezüglich der Ausgestaltung der ersten Spule sieht vor, mehrere in der Isolationsschicht übereinander angeordnete Teilspulen auszubilden, zwischen denen jeweils ein Teil der Isolationsschicht angeordnet sein kann, und diese Teilspulen parallel zu schalten, also an ihren jeweiligen Anschlüssen elektrisch miteinander zu verbinden.

25

Der Halbleiterkörper, in dem oder auf dem die erste und zweite Spule angeordnet sind, kann Teil eines SOI-Substrats sein, bei dem übereinander ein Halbleitermaterial, ein Isolationsmaterial und ein Substrat vorhanden sind.

30

Die Transformatoranordnung umfasst vorzugsweise eine Sendevorrichtung, die an eine der beiden Spulen angeschlossen ist, und eine Empfängervorrichtung, die an die andere der beiden

35

Spulen angeschlossen ist. Diese beiden Vorrichtungen können in einem gemeinsamen Halbleiterkörper, vorzugsweise einem Halbleiterkörper, in dem oder auf dem auch wenigstens eine der beiden Spulen ausgebildet ist, oder in separaten Halbleiterkörpern integriert sein. Vorzugsweise ist die ein Aspektverhältnis größer als 1 aufweisende erste Spule an die Sendevorrichtung angeschlossen.

Bei gemeinsamer Realisierung der Sendervorrichtung und der Empfängervorrichtung in einem Halbleiterkörper sind diese beiden Vorrichtung elektrisch gegeneinander isoliert, was durch ein Isolationsmaterial, insbesondere bei SOI-Substraten, oder durch pn-Übergänge realisiert sein kann.

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend in den Figuren näher erläutert. In den Figuren zeigt

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines integrierten Transformators mit einer ersten und einer zweiten Spule, die in verschiedenen, übereinander angeordneten Halbleiterkörpern integriert sind in Seitenansicht (Figur 1a) und in Draufsicht (Figur 1b) im Querschnitt,

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung, bei der die erste Spule in einem Halbleiterkörper und die zweite Spule in einer Isolationsschicht oberhalb des Halbleiterkörpers angeordnet ist,

Figur 3 ein Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung, bei der die erste und zweite Spule übereinander in einem Graben eines Halbleiterkörpers angeordnet sind,

Figur 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung, bei der die erste Spule und

die zweite Spule übereinander liegend in einem Graben eines Halbleiterkörpers angeordnet sind,

Figur 5 Ausführungsbeispiele einer integrierter Transformatoranordnungen, bei der die zweite Spule durch einen stark dotierten Halbleiterbereich in einem Halbleiterkörper gebildet ist und mittels oberhalb des Halbleiterkörpers verlaufenden Leistungsverbindungen (Figur 7a) bzw. mittels in dem Halbleiterkörper integrierter Leitungsverbindungen (Figur 7b) an einen Empfänger angeschlossen ist,

Figur 6 ein Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung, bei der die zweite Spule aus einem stark dotierten Halbleiterbereich in Zwischenräumen eines die erste Spule enthaltenden Grabens in einem Halbleiterkörper ausgebildet ist,

Figur 7 weitere Ausführungsbeispiele integrierter Transformatoranordnungen, bei der die zweite Spule oberhalb der ersten Spule (Figur 7a) und die erste Spule oberhalb der zweiten Spule (Figur 7b) übereinander liegend in einem Graben eines Halbleiterkörpers ausgebildet sind,

Figur 8 ein Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung, bei der die erste und zweite Spule in einer Isolationsschicht oberhalb eines Halbleiterkörpers ausgebildet sind,

Figur 9 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung, bei der die erste und zweite Spule in einer Isolationsschicht oberhalb eines Halbleiterkörpers angeordnet sind,

Figur 10 ein Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung, bei der die erste Spule in einer

Isolationsschicht oberhalb eines Halbleiterkörpers und die zweite Spule in dem Halbleiterkörper angeordnet ist,

- 5 Figur 11 ein Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung, bei der die erste Spule aus mehreren Teilspulen gebildet und in einer Isolationsschicht oberhalb eines Halbleiterkörpers angeordnet ist,

10

- Figur 12 Diagramm mit dem Verlauf der Wicklungszeitkonstante abhängig von der Wicklungshöhe,

15

- Figur 13 Diagramm der Ausgangsspannung eines erfindungsgemäßen Transformators bei Impulserregung am Eingang über der Zeit.

In den Figuren bezeichnen, sofern nicht anders angegeben, gleiche Bezugszeichen gleiche Teile mit gleicher Bedeutung.

20

Figur 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen integrierten Transformatoranordnung, die zwei induktiv miteinander gekoppelte planare Spulen 1, 2 aufweist, Figur 1a zeigt die Transformatoranordnung in Seitenansicht im Querschnitt. Figur 1b zeigt einen Querschnitt der Transformatoranordnung in der in Figur 1a eingezeichneten Schnittebene I-I.

25

Die Transformatoranordnung gemäß Figur 1 weist einen ersten Halbleiterkörper 10 und einen zweiten Halbleiterkörper 20 auf, die übereinander angeordnet und mittels einer Isolationsschicht 30, beispielsweise einem Polyimid oder einem Halbleiteroxid, elektrisch gegeneinander isoliert sind. Der erste Halbleiterkörper 10 ist dabei oberhalb des zweiten Halbleiterkörpers 20 angeordnet und weist einen Graben auf, der sich ausgehend von einer der Oberflächen des Halbleiterkörpers 10 in vertikaler Richtung in den Halbleiterkörper hinein er-

30

35

streckt und der in Draufsicht (Figur 1b) spiralförmig verläuft. Dieser Graben ist mit einem elektrisch leitenden Material, beispielsweise Aluminium oder Kupfer, aufgefüllt, wobei das elektrisch leitende Material mittels einer Isolations-

5 schicht 12 gegenüber dem Halbleiterkörper 10 elektrisch isoliert ist. Das Isolationsmaterial 12 besteht vorzugsweise aus einem Halbleiteroxid.

Das in dem Graben vorhandene spiralförmig verlaufende elektrisch leitende Material bildet die erste Spule 1 der Transformatoranordnung, wobei das Verhältnis zwischen einer Höhe h dieser Windung und einer Breite W größer als 1, vorzugsweise größer als 3 ist. Die Höhe h der Windung ist im wesentlichen bestimmt durch die Tiefe des Grabens in vertikaler Richtung

10 des Halbleiterkörpers, und die Breite W der Windung ist im wesentlichen bestimmt durch die Breite des Grabens in horizontaler Richtung des Halbleiterkörpers, wobei diese Parameter in hinlänglich bekannter Weise bei Halbleiterprozessen einstellbar sind. Die Herstellung des Grabens erfolgt beispielsweise unter Abscheiden einer Lackmaske auf die Oberfläche des Halbleiterkörpers 10 und Durchführung eines anschließenden Ätzverfahrens.

15

20

Die erste Spule 1 ist über Leitungsverbindungen 51, 52, die in Figur 1a nur schematisch dargestellt sind, an eine in dem Halbleiterkörper 10 integrierte Sendevorrichtung 50 angeschlossen. Diese Sendevorrichtung 50 kontaktiert über die Anschlussleitungen 51, 52 die in Figur 1b eingezeichneten Enden 151, 152 der Spule 1. Die in dem Halbleiterkörper 10 integrierte Sendevorrichtung ist mittels der die Spule 1 umgebenden Isolations-

25 schicht 12 gegenüber der Spule 1 elektrisch isoliert. Darüber hinaus ist an der Oberfläche des Halbleiterkörpers 10 eine Isolations-

30 schicht 11 aufgebracht, die eine nicht näher dargestellte Verdrahtungsebene, in welcher die Leitungsverbindungen 51, 52 untergebracht sind, von der integrierten Sendeschaltung 50 elektrisch isoliert.

35

Die zweite Spule 2 verläuft entsprechend der ersten Spule 1 ebenfalls spiralförmig und ist in der Isolationsschicht 30 zwischen dem zweiten Halbleiterkörper 20 und dem ersten Halbleiterkörper 10 oberhalb einer Isolationsschicht 21, die auf der dem ersten Halbleiterkörper 10 zugewandten Oberfläche des zweiten Halbleiterkörpers 20 ausgebildet ist, ausgebildet. In dem zweiten Halbleiterkörper 20 ist eine als integrierte Schaltung ausgebildete Empfängervorrichtung 40 vorhanden, die in Figur 1a nur schematisch eingezeichnet ist. Diese Empfängervorrichtung ist mittels Leitungsverbindungen 41, 42, die ebenfalls nur schematisch dargestellt sind, an die Enden der zweiten Spule 2 angeschlossen. Die Isolationsschicht 21 isoliert den Halbleiterkörper 20 mit der integrierten Empfängervorrichtung 40 gegenüber der Spule 20, so dass ein elektrischer Kontakt zwischen der Spule 20 und dem Empfänger 40 nur über die Leitungsverbindungen 41, 42 besteht.

Die Realisierung der Senderspule 1 mit einem Aspektverhältnis, also einem Verhältnis aus Höhe zu Breite, größer 1 reduziert den Leitungswiderstand der Transformatoranordnung und vergrößert damit die Wicklungszeitkonstante τ der primären Wicklung, die gegeben ist durch $\tau = L/R$, wobei L die Selbstinduktivität und R der Widerstand dieser Wicklung ist.

Die Realisierung der Sendespule mit einer im Vergleich zur Breite der Wicklung großen Höhe vergrößert die Abmessungen der Transformatoranordnungen in horizontaler bzw. lateraler Richtung nicht, da die Breite W der Wicklungen im Vergleich zu herkömmlichen derartigen Wicklungen konstant bleiben kann. In vertikaler Richtung der Anordnung steht ohnehin Raum zur Verfügung, da eine gewisse Dicke der Anordnung vorhanden sein muss, um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten.

Figur 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer integrierten Transformatoranordnung. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die Sendespule 1 in der bereits in Figur 1 erläuterten Weise in einem spiralförmig verlaufenden vertikalen

Graben eines Halbleiterkörpers 10 ausgebildet. Die Sendespule 1 ist mittels schematisch dargestellter Leitungsverbindungen 51, 52, die in einer aus mehreren Schichten 61, 62, 63, 64 bestehenden Verdrahtungsebene 60 oberhalb des Halbleiterkörpers 10 ausgebildet sind, an einen in dem Halbleiterkörper 10 integrierten Sender 50 angeschlossen. Die ebenfalls spiralförmig verlaufende zweite Spule 2 ist in dem Ausführungsbeispiel in einer Isolationsschicht 60 oberhalb des Halbleiterkörpers 10 ausgebildet und mittels schematisch dargestellter Leitungsverbindungen 41, 42, an eine in dem Halbleiterkörper 10 integrierte Empfängervorrichtung 40 angeschlossen. Die Isolationsschicht 60 besteht vorzugsweise aus mehreren Lagen 61, 62, 63, 64 und ist Bestandteil einer Verdrahtungsebene oder nach Art einer Verdrahtungsebene ausgebildet. In einer solchen Verdrahtungsebene können Leitungsverbindungen in mehreren Ebenen isoliert gegeneinander angeordnet sein, um in einem Halbleiterkörper integrierte Halbleiterbauelemente elektrisch miteinander zu verbinden oder um Bauelemente in dem Halbleiterkörper von außen zu kontaktieren. Die zweite Spule 2 kann in dieser Verdrahtungsebene mittels herkömmlicher Verfahren zur Realisierung von Leitungsverbindungen hergestellt werden und besteht vorzugsweise aus einem Metall, wie beispielsweise Kupfer oder Aluminium.

Die Isolationsschicht 60, in welcher die zweite Spule 2 und die Leitungsverbindungen 41, 42 bzw. 51, 52 untergebracht sind, besteht beispielsweise aus einem Polyimid. Die zweite Spule 2 und die Leitungsverbindungen 41, 42, 51, 52 bestehen beispielsweise aus Kupfer oder Aluminium. In nicht näher dargestellter Weise können elektrisch leitende Verbindungen zwischen dem Sender 50 und der Primärspule 1 und dem Empfänger 40 und der Sekundärspule 2 auch in dem Halbleiterkörper 10 ausgebildet sein.

Die erste Spule 1 ist durch die sie umgebende Isolationschicht 12 gegenüber dem Halbleiterkörper 10 und damit gegenüber der integrierten Empfängervorrichtung 40 und der integ-

rierten Sendervorrichtung 50 isoliert. Vorzugsweise sind der Sender 50 und der Empfänger 40 von geeigneten Potentialbarrieren umgeben, um diese beiden Vorrichtungen 40, 50 elektrisch voneinander zu isolieren. Diese Potentialbarrieren sind in Figur 2 schematisch gestrichelt eingezeichnet und umfassen beispielsweise pn-Übergänge, die in der Halbleitertechnologie zur gegenseitigen Isolation von Halbleiterbauelementen, die in einem gemeinsamen Halbleiterkörper integriert sind, hinlänglich bekannt sind.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Transformatoranordnung ist in Figur 3 dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind die erste Spule 1 und die zweite Spule 2 übereinander liegend in einem spiralförmig verlaufenden, sich in vertikaler Richtung in den Halbleiterkörper 10 hinein erstreckenden Graben angeordnet. Die erste Spule 1 befindet sich in dem Beispiel im unteren Teil des Grabens und ist mittels der Isolationsschicht 12 gegenüber dem Halbleiterkörper 10 isoliert. Die Spule 1 ist mittels Leitungsverbindungen 51, 52 an einen in dem Halbleiterkörper 10 integrierten Sender angeschlossen, der von einer gestrichelt eingezeichneten Isolationsbarriere umgeben ist. Im Bereich der Anschlüsse erstreckt sich die erste Spule 1 bis an die Oberfläche des Halbleiterkörpers 10 und ist dort mittels der Leitungsverbindungen 51, 52 kontaktiert. Die zweite Spule ist durch die Isolationsschicht 12 isoliert gegenüber der ersten Spule 1 in dem Graben ausgebildet und ist mittels Leitungsverbindungen 41, 42 an eine ebenfalls in dem Halbleiterkörper 10 integrierte Empfängervorrichtung 40 angeschlossen. Das in Figur 3 dargestellte Ausführungsbeispiel ermöglicht eine besonders gute induktive Kopplung der ersten und zweiten Spule 1, 2. Diese Transformatoranordnung ist darüber hinaus besonders platzsparend realisierbar. Das Aspektverhältnis der ersten Spule 1 ist, wie auch bei den zuvor erläuterten Ausführungsbeispielen, größer als 1.

Figur 4 zeigt eine Abwandlung der in Figur 3 dargestellten Transformatoranordnung. Bei der Transformatoranordnung gemäß Figur 4 ist zur Integration der Spulen 1, 2 sowie des Senders 50 und des Empfängers 40 ein SOI-Substrat verwendet, welches ein Halbleitersubstrat 71 aufweist, auf welchem isoliert durch eine Isolationsschicht 73 eine Halbleiterschicht 72 aufgebracht ist, wobei der Sender 50, der Empfänger 40 und die Spulen 1, 2 in dieser Halbleiterschicht 72 integriert sind. Der Sender 50 und Empfänger 40 sind jeweils vorzugsweise durch Wände 74 aus isolierendem Material umgeben, die in vertikaler Richtung bis an die das Halbleitersubstrat 71 und die Halbleiterschicht 72 trennende Isolationsschicht 73 reichen. Diese Isolationswände werden beispielsweise dadurch hergestellt, dass Gräben um die als integrierte Schaltungen ausgebildeten Sender- und Empfängervorrichtungen 50, 40 erzeugt werden, die bis an die Isolationsschicht 73 reichen und die anschließend mittels eines Isolationsmaterials aufgefüllt werden.

Wie bei den zuvor dargestellten Ausführungsbeispielen ist auch bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4 die Spule 1 über Leitungsverbindungen 51, 52 an den Sender 50 angeschlossen, und die zweite Spule 2 ist mittels Leitungsverbindungen 41, 42 an den Empfänger 40 angeschlossen.

Figur 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Transformatoranordnung, bei welcher die erste Spule 1 in einem spiralförmig verlaufenden, sich in vertikaler Richtung in den Halbleiterkörper 10 hinein erstreckenden Graben ausgebildet ist. Die erste Spule ist mittels schematisch dargestellter Leitungsverbindungen 51, 52 an eine in dem Halbleiterkörper 10 integrierte Sendervorrichtung 50 angeschlossen, die von einer gestrichelt eingezeichneten Potentialbarriere umgeben ist.

Die zweite Spule 2 ist in dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5a durch einen stark dotierten, beispielsweise einen stark n-

dotierten, Halbleiterbereich ausgebildet, der spiralförmig in dem Halbleiterkörper 10 verläuft und der unterhalb des Grabens mit der ersten Spule 1 ausgebildet ist. An Enden dieses stark dotierten Halbleiterbereiches sind elektrisch leitende

5 Kontakte 2A, 2B, beispielsweise aus Metall, an die Oberfläche des Halbleiterkörpers 10 geführt und dort über Leitungsverbindungen 41, 42 an die ebenfalls in dem Halbleiterkörper 10 integrierte Empfängervorrichtung, die durch eine gestrichelt eingezeichnete Isolationsbarriere umgeben ist, angeschlossen.

10

Figur 5b zeigt eine Abwandlung der Vorrichtung nach Figur 5a, die sich im Wesentlichen von der Vorrichtung nach Figur 5a dadurch unterscheidet, dass elektrisch leitenden Verbindungen 41, 42 zwischen der aus stark dotierten Halbleiterbereichen

15 gebildeten zweiten Spule 2 und dem Empfänger ebenfalls durch stark dotierte Halbleiterzonen in dem Halbleiterkörper 10 unterhalb der Gräben mit der ersten Spule 1 ausgebildet sind.

20

Des Weiteren sind bei der Vorrichtung gemäß Figur 5b die Sendervorrichtung 50 und die Empfängervorrichtung 40 in unterschiedlichen Halbleiterkörpern ausgebildet. Die Empfängervorrichtung 40 befindet sich in diesem Ausführungsbeispiel zusammen mit der ersten und zweiten Spule 1, 2 in dem Halbleiterkörper 10, während die Sendervorrichtung 50 in einem weiteren neben dem Halbleiterkörper 10 angeordneten Halbleiterkörper 80 integriert ist und mittels Leitungsverbindungen 512, 522, 511, 521 an die erste Spule 1, die Sendespule, angeschlossen ist.

30

Figur 6 zeigt eine Abwandlung der in Figur 5 dargestellten Transformatoranordnung, wobei bei dieser Abwandlung, die zweite Spule 2 ebenfalls durch einen stark dotierten Halbleiterbereich gebildet ist, wobei dieser stark dotierte Halbleiterbereich im Bereich der Oberfläche des Halbleiterkörpers 10

35 in Zwischenräumen des Grabens mit der ersten Spule 1 ausgebildet ist und damit parallel zu dem spiralförmigen Graben

verläuft und entsprechend ebenfalls spiralförmig ausgebildet ist.

Figur 7a zeigt eine Abwandlung der in den Figuren 3 und 4
5 dargestellten Transformatoranordnungen, bei welchen die erste und zweite Spule 1, 2 übereinander liegend in einem Graben des Halbleiterkörpers 10 angeordnet sind. In Abwandlung zu den Ausführungsbeispielen gemäß der Figuren 3 und 4 sind bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 7 die Sendevorrichtung 50
10 und die Empfängervorrichtung 40 nicht in dem selben Halbleiterkörper ausgebildet. Bei dem Beispiel gemäß Figur 7 ist der Sender 50 umgeben von einer gestrichelt eingezeichneten Isolationsbarriere in dem selben Halbleiterkörper integriert, in dem die erste Spule 1 und die zweite Spule 2 integriert sind.
15 Der Empfänger 40 ist in einem weiteren Halbleiterkörper 80, integriert, der neben dem Halbleiterkörper 10 angeordnet ist, wobei die zweite Spule 2 über Leitungsverbindungen 411, 421 mit Kontaktanschlüssen des Halbleiterkörpers 80 verbunden ist, die wiederum über Leitungsverbindungen 412, 422 an den
20 integrierten Empfänger 40 angeschlossen sind.

Figur 7b zeigt eine Abwandlung der in Figur 7a dargestellten Transformatoranordnung, die sich von der in Figur 7a dargestellten Transformatoranordnung im Wesentlichen dadurch unterscheidet, dass die zweite Spule 2 in Gräben des Halbleiterkörpers 10 unterhalb der ersten Spule ausgebildet ist. Die
25 beiden Spulen sind mittels der Isolationsschicht 12 gegeneinander isoliert, wobei das elektrisch leitende Material der zweiten Spule 2 - entsprechend der ersten Spule 1 in Figur 7a
30 - am Spulenanfang und am Spulenende bis an die Oberfläche des Halbleiterkörpers 10 reicht, um dort durch die Leistungsverbindungen 41, 42 zum Anschluss an die Empfängervorrichtung 41, 42 kontaktiert zu werden.

35 Im Gegensatz zu der Transformatoranordnung gemäß Figur 7a ist bei der Anordnung gemäß Figur 7b der Empfänger 40 in demselben Halbleiterkörper 10 wie die Sendespule 1 und die Empfän-

gerspule 2 integriert, während die Sendervorrichtung 50 in dem weiteren, neben dem Halbleiterkörper 10 angeordneten Halbleiterkörper 80 integriert und mittels Leitungsverbindungen 512, 522, 511, 521 an Kontaktanschlüsse der in dem Halbleiterkörper 10 integrierten ersten Spule 1 angeschlossen ist.

Figur 8 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Transformatoranordnung. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind der Sender 50 und der Empfänger 40 jeweils von einer gestrichelt eingezeichneten Potentialbarriere umgeben und als integrierte Schaltungen in einem Halbleiterkörper 10 ausgebildet. Sowohl die erste Spule 1 als auch die zweite Spule 2 sind in einer Isolationsschicht 60, die aus mehreren Lagen 61, 62, 63, 64 aufgebaut ist, oberhalb des Halbleiterkörpers 10 untergebracht. Die Isolationsschicht mit den Spulen 1, 2 besteht vorzugsweise aus einem Polyimid, wobei zwischen diese Isolationsschicht 60 und den Halbleiterkörper 10 eine weitere Isolationsschicht 14, beispielsweise aus einem Halbleiteroxid aufgebracht ist. Die zweite Spule 2 ist in dem Ausführungsbeispiel direkt auf diese Isolationsschicht 14 aufgebracht und ist mittels Leitungsverbindungen 41, 42, die in der vorzugsweise auch als Verdrahtungsschicht dienenden Isolationsschicht 60 ausgebildet sind, an den integrierten Empfänger 40 angeschlossen.

Die erste Spule 1 ist isoliert durch die Isolationsschicht 60 oberhalb der zweiten Spule 2 angeordnet und mittels schematisch dargestellter Leitungsverbindungen 51, 52 an den integrierten Sender 50 in dem Halbleiterkörper 10 angeschlossen.

Die erste Spule 1 und die zweite Spule 2 sind mittels herkömmlicher Verfahren zur Herstellung von Leiterbahnen in Verdrahtungsebenen oberhalb eines Halbleiterkörpers realisierbar. Die erste und zweite Spule 1, 2 bestehen vorzugsweise aus einem Metall, wie beispielsweise Kupfer oder Aluminium.

Figur 9 zeigt eine Abwandlung des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 8, bei dem ein Halbleiterkörper 70, in dem der Sender und der Empfänger 40, 50 integriert sind, durch ein bereits im Zusammenhang mit Figur 4 erläutertes SOI-Substrat ausgebildet ist. Der Sender und der Empfänger 40, 50 sind in der Halbleiterschicht 72 oberhalb des Halbleitersubstrats 71 ausgebildet, wobei zwischen dieser Halbleiterschicht 72 und dem Halbleitersubstrat 71 eine Isolationsschicht 73 vorhanden ist. In dem Beispiel ist der Sender 50 vollständig durch elektrisch isolierende Wände 74, die sich von der Oberfläche der Halbleiterschicht 72 bis an die Isolationsschicht 73 erstreckt, umgeben, um dadurch den Sender 50 gegenüber dem Empfänger 40 elektrisch zu isolieren.

Figur 10 zeigt eine Abwandlung des in Figur 9 dargestellten Ausführungsbeispiels, bei dem die zweite Spule 2 in dem Halbleiterkörper 10 integriert und vorzugsweise als stark dotierte Halbleiterschicht im Bereich der Oberfläche des Halbleiterkörpers 10 spiralförmig verlaufend ausgebildet ist. Diese stark dotierten Bereiche sind mittels Leitungsverbindungen 41, 42 an den integrierten Empfänger 40 angeschlossen. Sender 50 und Empfänger 40 sind durch gestrichelt eingezeichnete Potentialbarrieren umgeben, um gegeneinander und gegenüber der zweiten Spule 2 elektrisch isoliert zu sein. Die erste Spule befindet sich in erläuterter Weise oberhalb der zweiten Spule in der Isolationsschicht 60.

Figur 11 zeigt eine weitere Abwandlung des in Figur 8 erläuterten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Transformatoranordnung. Die erste Spule 1 ist in dem Ausführungsbeispiel aus mehreren parallel zueinander angeordneten Teilspulen 1A, 1B, 1C, 1D gebildet, die im Vergleich zu dem Abstand zwischen der ersten Spule 1 und der zweiten Spule 2 einen geringen Abstand in vertikaler Richtung zueinander aufweisen und die vorzugsweise aus einem Metall, wie beispielsweise Kupfer oder Aluminium, bestehen. Diese Teilspulen 1A, 1B, 1C, 1D sind über Leitungsverbindungen 51, 52 gemeinsam an den

Sender 50 angeschlossen und damit parallel geschaltet. Die Höhe der Windung der ersten Spule 1 ergibt sich aus der Summe der Windungen der Teilspulen 1A, 1B, 1C, 1D. Das Verhältnis der Summe dieser einzelnen Höhen der Teilwindungen 1A-1D im Verhältnis zur Breite W der Windungen ist größer als 1, um eine große Wicklungszeitkonstante zu erreichen.

Figur 12 veranschaulicht in einem Diagramm den Verlauf der Wicklungszeitkonstante $\tau(h)$ abhängig von der Wicklungshöhe h, wobei dieses Diagramm für einen Transformator ermittelt wurde, bei dem Sender- und Empfängerspule jeweils 10 Windungen aufweisen, bei dem der Spulenabstand zwischen Sende- und Empfängerspule $10 \mu\text{m}$ beträgt, bei der die Leiterbahnbreite W für die Sende- und Empfängerspulenwindungen $6 \mu\text{m}$ beträgt. Der laterale Abstand zwischen den einzelnen Windungen für Sende- und Empfängerspule beträgt jeweils $3 \mu\text{m}$.

Wie in Figur 12 dargestellt ist, nimmt die Wicklungszeitkonstante τ mit zunehmender Wicklungshöhe h zu, wobei das Verhältnis von Wicklungshöhe h zur Wicklungsbreite bei einem Wert von $h = 1,5 \cdot 10^{-5}$ für die Wicklungshöhe h 2,5 beträgt.

Figur 13 veranschaulicht in einem Diagramm die effektive Kopplung eines Transformators mit den zuvor angegebenen Parametern zum Einen für eine Wicklungshöhe von $1 \mu\text{m}$ (durchgezogene Linie), was einem Aspektverhältnis von $1/6$ entspricht, und für eine Wicklungshöhe h von $10 \mu\text{m}$, was einem Aspektverhältnis von $5/3$ entspricht (gestrichelte Linie). Figur 13 zeigt den Verlauf einer an der Empfängerwicklung abgreifbaren Spannung U_{out} bei einer impulsförmigen Erregung am Eingang. Wie Figur 13 zeigt, nimmt bei dem größeren Aspektverhältnis die Spannung über der Zeit t wesentlich langsamer als bei dem kleineren Aspektverhältnis ab, so dass bei einem größeren Aspektverhältnis eine deutlich bessere Kopplung der beiden Spulen, und damit eine verbesserte Signalübertragung erreicht wird.

Bezugszeichenliste

	W	Windungsbreite
	H	Windungshöhe
5	1	erste Spule
	2	zweite Spule
	12	Isolationsschicht
	51, 52	Anschlussleitungen
	41, 42	Anschlussleitungen
10	50	Sendevorrichtung
	40	Empfängervorrichtung
	10	erster Halbleiterkörper
	20	zweiter Halbleiterkörper
	21	Isolationsschicht auf dem zweiten Halb-
15		leiterkörper
	11	Isolationsschicht auf dem ersten Halblei-
		terkörper
	30	Isolationsschicht
	151, 152	Anschlusspunkte
20	60	Isolationsschicht
	61, 62, 63, 64, 65	Lagen der Isolationsschicht
	70	SOI-Substrat
	71	Halbleitersubstrat
	73	Isolationsschicht
	74	Isolationswand
	72	Halbleiterschicht
	80	Halbleiterkörper
	411, 412	Anschlussleitungen
	421, 422	Anschlussleitungen
30	1A, 1B, 1C, 1D	Teilspulen

Patentansprüche

1. Integrierte Transformatoranordnung mit einer ersten Spule (1), die aus einem spiralförmig verlaufenden elektrisch leitenden Material mit im wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt gebildet ist, und mit einer spiralförmig verlaufenden zweiten Spule (2), wobei die erste und zweite Spule (1, 2) elektrisch isoliert gegeneinander angeordnet sind, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Verhältnis zwischen der Höhe (h) und der Breite (W) des rechteckförmigen Querschnitts der ersten Spule (1) größer als 1 ist.
2. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1, bei der das Verhältnis zwischen der Höhe (h) und der Breite (W) des rechteckförmigen Querschnitts der ersten Spule größer als 3 ist.
3. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die erste Spule (1) in einem ersten Graben in einem ersten Halbleiterkörper (10) ausgebildet ist, wobei der Graben spiralförmig verläuft und sich in vertikaler Richtung in den Halbleiterkörper (10) hinein erstreckt.
4. Halbleiteranordnung nach Anspruch 3, bei der die zweite Spule in oder auf einem zweiten Halbleiterkörper (20) ausgebildet ist, wobei der erste und zweite Halbleiterkörper (10, 20) übereinander und isoliert zueinander angeordnet sind.
5. Halbleiteranordnung nach Anspruch 4, bei der die zweite Spule (2) in einer Isolationsschicht (30) zwischen dem ersten und zweiten Halbleiterkörper (10, 20) ausgebildet ist.
6. Halbleiteranordnung nach Anspruch 3, bei der die zweite Spule (2) in einer Isolationsschicht (60) oberhalb des ersten Halbleiterkörpers ausgebildet ist.

7. Halbleiteranordnung nach Anspruch 6, bei der die Isolations-
schicht (60), in der die zweite Spule (2) ausgebildet ist,
Bestandteil einer Metallisierungsebene ist.

5 8. Halbleiteranordnung nach Anspruch 3, bei der die zweite
Spule (2) oberhalb oder unterhalb der ersten Spule (1) in dem
Graben ausgebildet ist.

9. Halbleiteranordnung nach Anspruch 3, bei der die zweite
10 Spule (2) aus einem stark dotierten Halbleitermaterial in dem
ersten Halbleiterkörper (10) ausgebildet ist.

10. Halbleiteranordnung nach Anspruch 9, bei der das die
zweite Spule (2) bildende stark dotierte Halbleitermaterial
15 unterhalb des Grabens mit der ersten Spule (1) ausgebildet
ist.

11. Halbleiteranordnung nach Anspruch 9, bei der das die
zweite Spule bildende stark dotierte Halbleitermaterial be-
20 nachbart zu dem Graben mit der ersten Spule (1) ausgebildet
ist.

12. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die
erste Spule (1) in einer Isolationsschicht (60) oberhalb ei-
5 nes Halbleiterkörpers (10) ausgebildet ist.

13. Halbleiteranordnung nach Anspruch 12, bei der die Isola-
tionsschicht (60) Bestandteil einer Metallisierungsebene ist.

30 14. Halbleiteranordnung nach Anspruch 12 oder 13, bei der die
zweite Spule (2) isoliert gegenüber dem Halbleiterkörper (10)
oberhalb des Halbleiterkörpers (10) in der Isolationsschicht
(60) ausgebildet ist.

35 15. Halbleiteranordnung nach Anspruch 14, bei der die zweite
Spule (2) zwischen der ersten Spule (1) und dem Halbleiter-
körper (10) ausgebildet ist.

16. Halbleiteranordnung nach Anspruch 12 oder 13, bei der die zweite Spule (2) in dem Halbleiterkörper (10) ausgebildet ist.

5

17. Halbleiteranordnung nach Anspruch 16, bei der die zweite Spule (16) aus einem stark dotierten Halbleitermaterial gebildet ist.

10 18. Halbleiteranordnung nach Anspruch 12 oder 13, bei der die erste Spule (1) aus mehreren in der Isolationsschicht (60) übereinander angeordneten Teilspulen (1A, 1B, 1C, 1D) gebildet ist, die elektrisch miteinander verbunden sind.

15 19. Halbleiteranordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei der der Halbleiterkörper (70) Teil eines SOI-Substrats ist.

20 20. Halbleiteranordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, die eine Sendevorrichtung (50) aufweist, die an eine (1) der beiden Spulen (1, 2) angeschlossen ist, und die eine Empfängervorrichtung (40) aufweist, die an die andere (2) der beiden Spulen angeschlossen ist.

21. Halbleiteranordnung nach Anspruch 4 und Anspruch 20, bei der die Sendevorrichtung (50) in einem (10) der beiden Halbleiterkörper (10, 20) und die Empfängervorrichtung (40) in dem anderen (20) der beiden Halbleiterkörper (10, 20) integriert ist.

30

22. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 20, bei der die Sendevorrichtung (50) und die Empfängervorrichtung (40) in dem Halbleiterkörper (10) integriert sind.

35 23. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 20, bei der die Sendevorrichtung (50) und die Empfängervorrichtung (40) in verschiedenen Halbleiterkörpern (10, 80) integ-

riert sind, wobei eine der Vorrichtungen (50, 40) in dem Halbleiterkörper (10) integriert ist, in dem oder auf dem die erste Spule (1) ausgebildet ist.

Zusammenfassung

Integrierte Transformatoranordnung

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine integrierte Transformatoranordnung mit einer ersten Spule (1), die aus einem spiralförmig verlaufenden elektrisch leitenden Material mit im wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt gebildet ist, und mit einer spiralförmig verlaufenden zweiten Spule (2), wobei
- 10 die erste und zweite Spule (1, 2) elektrisch isoliert gegeneinander angeordnet sind, wobei das Verhältnis zwischen der Höhe (h) und der Breite (W) des rechteckförmigen Querschnitts der ersten Spule (1) größer als 1 ist.

- 15 Figur 1

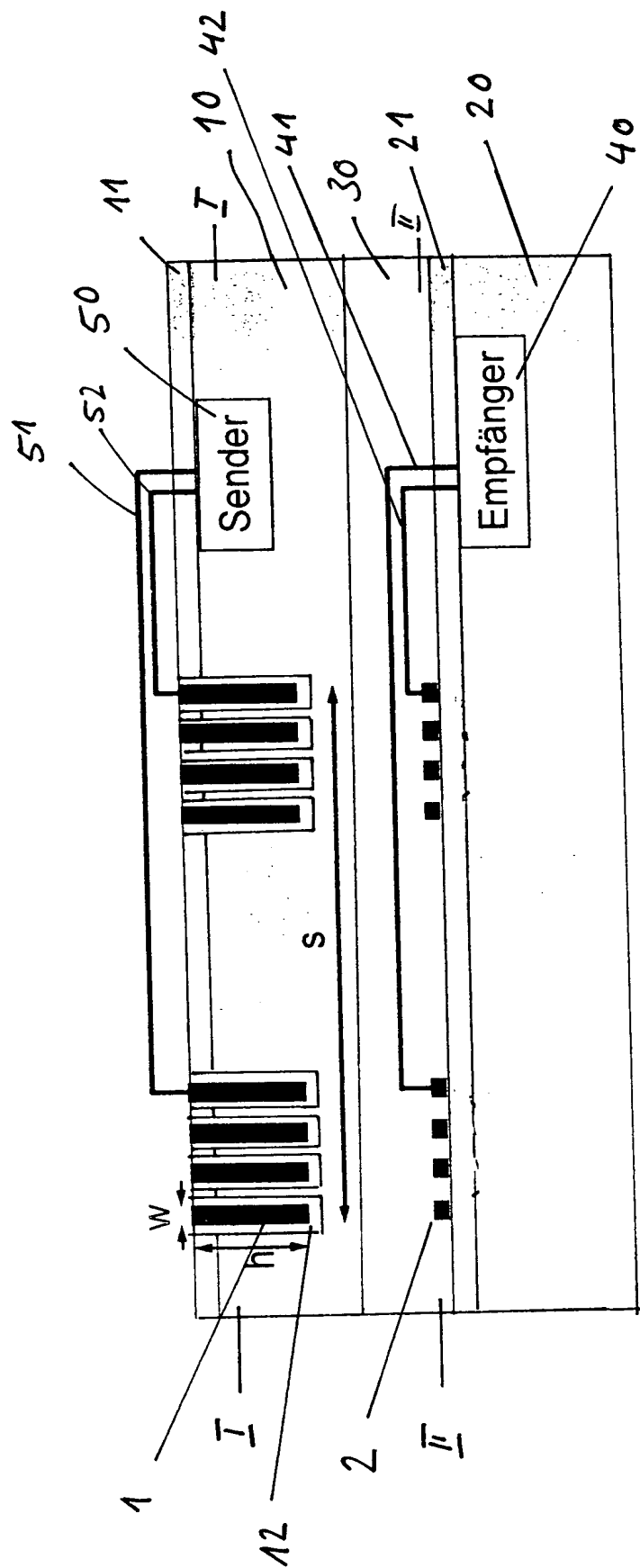


Fig. 1a

2/15

I-I,
II-II

151

152

12

1

10

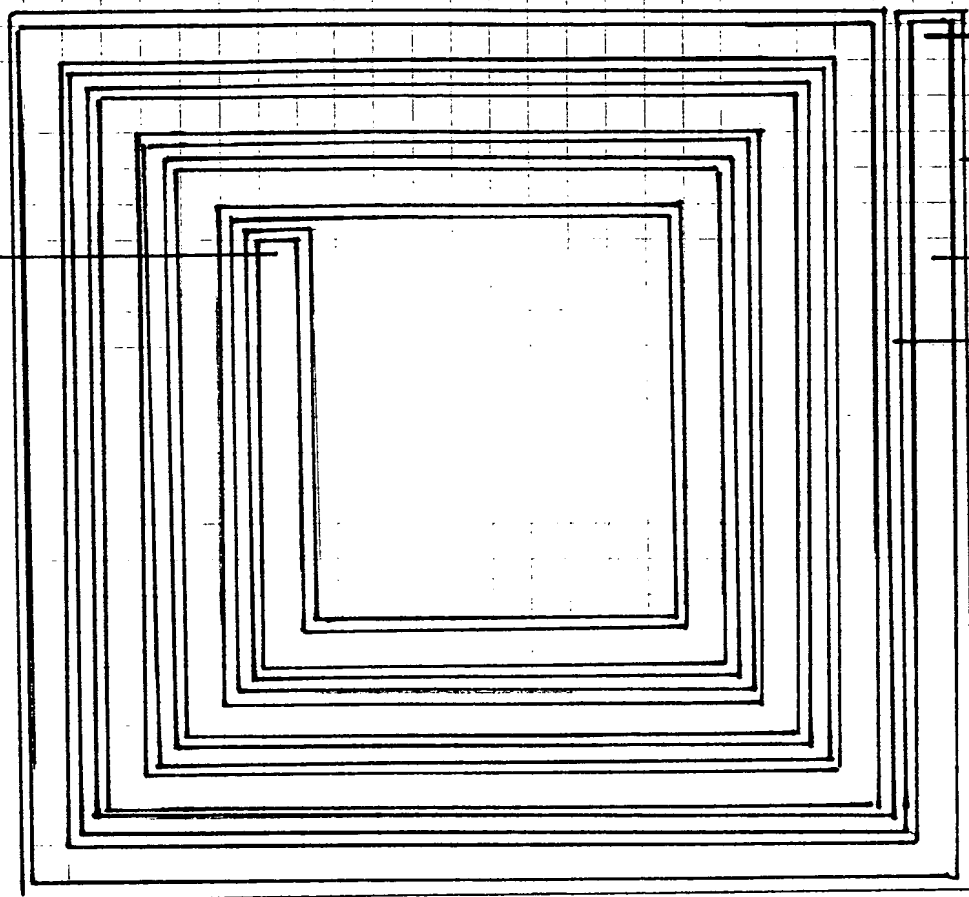


FIG. 16

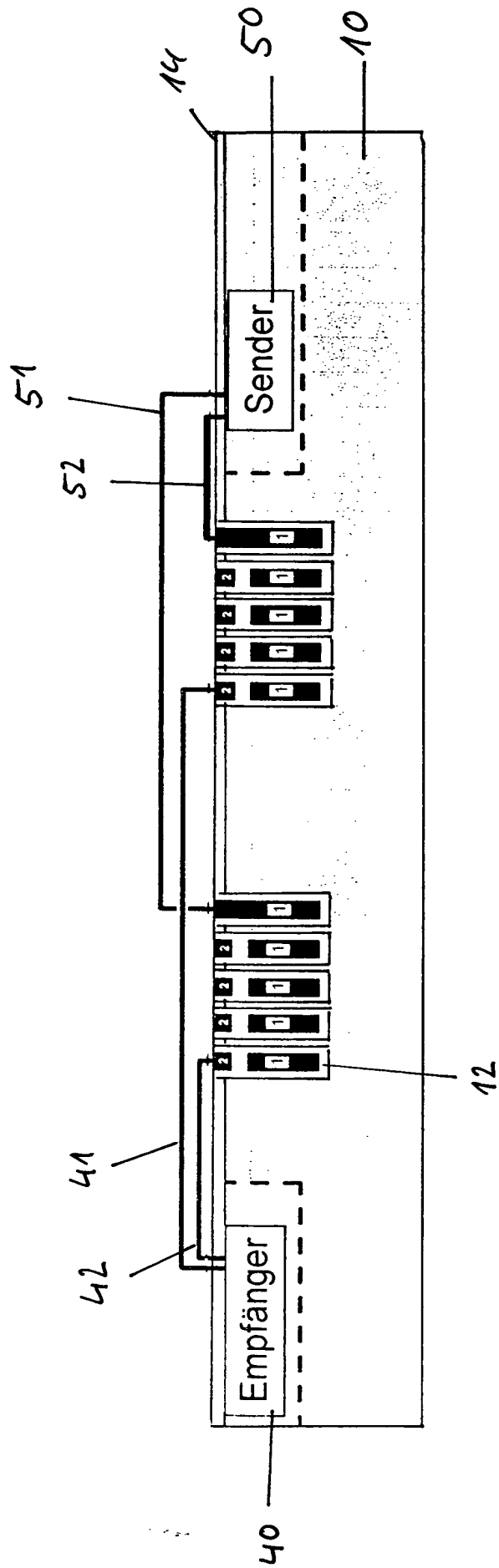


FIG. 3

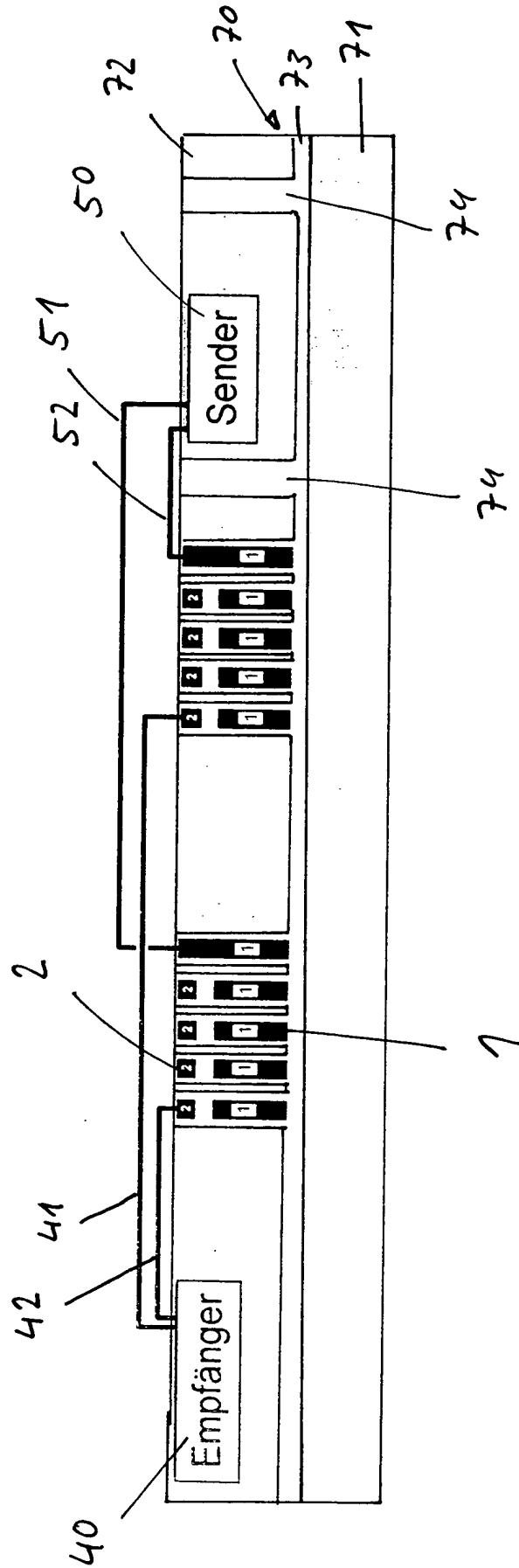


Fig. 4

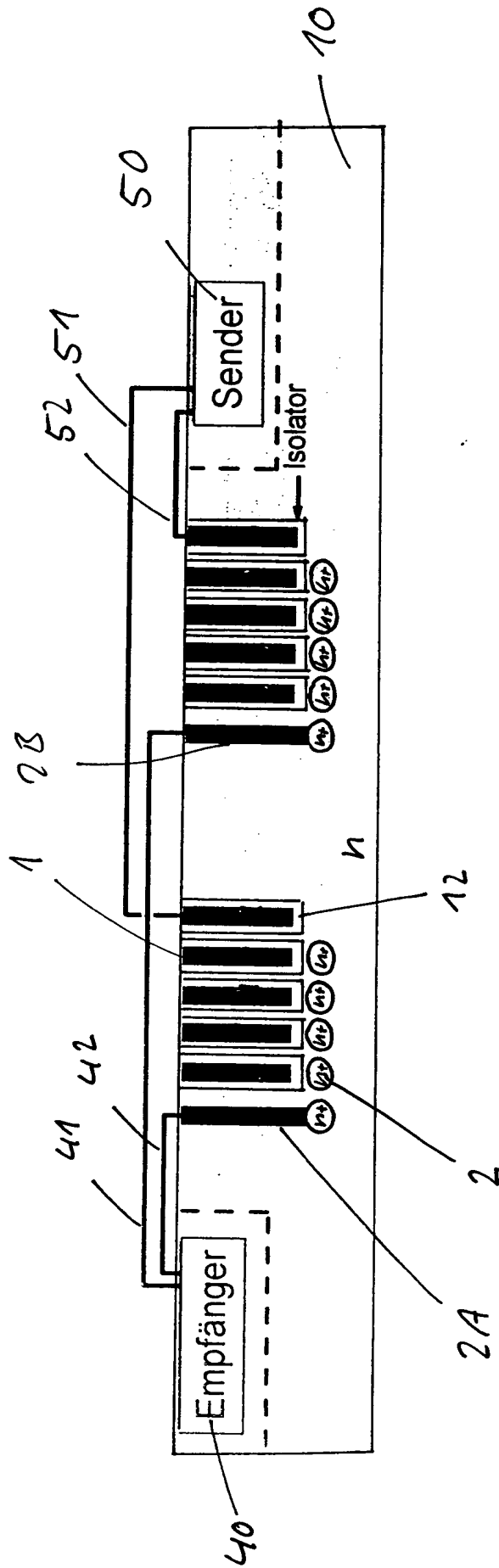


Fig. 5a

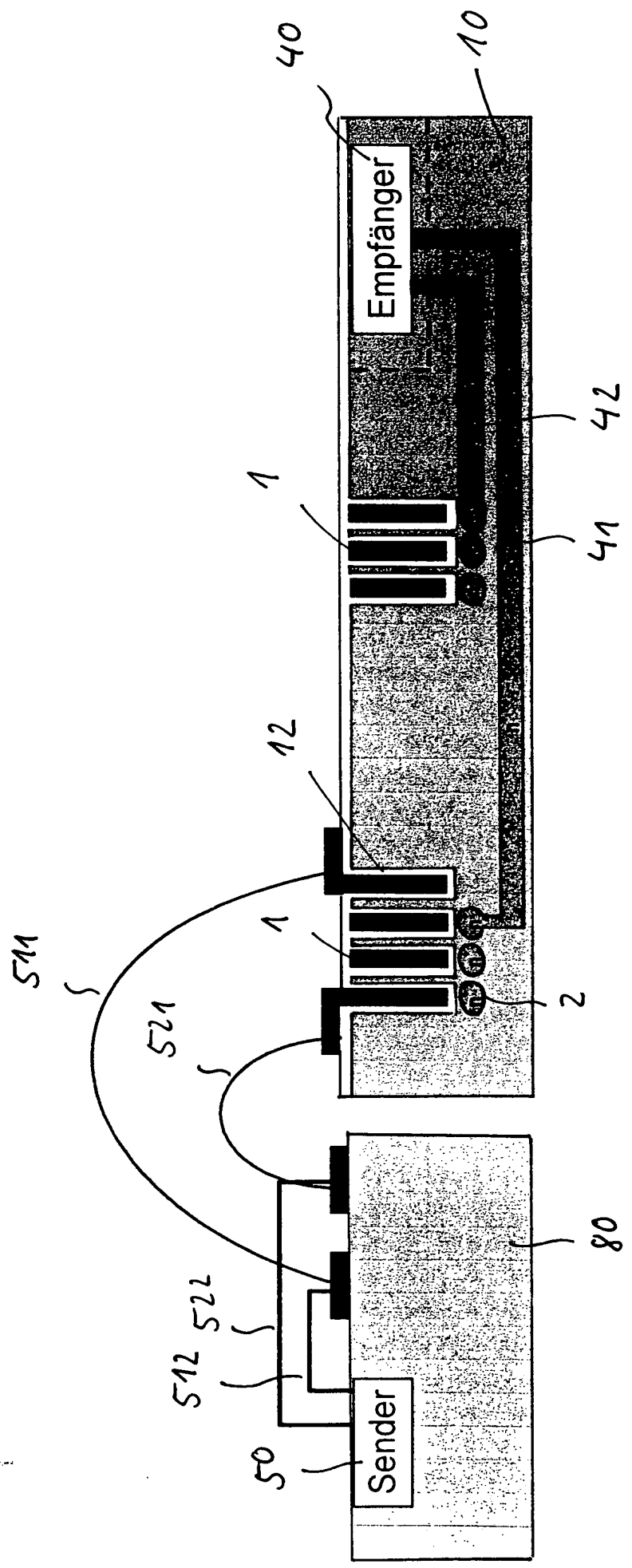


Fig. 5b

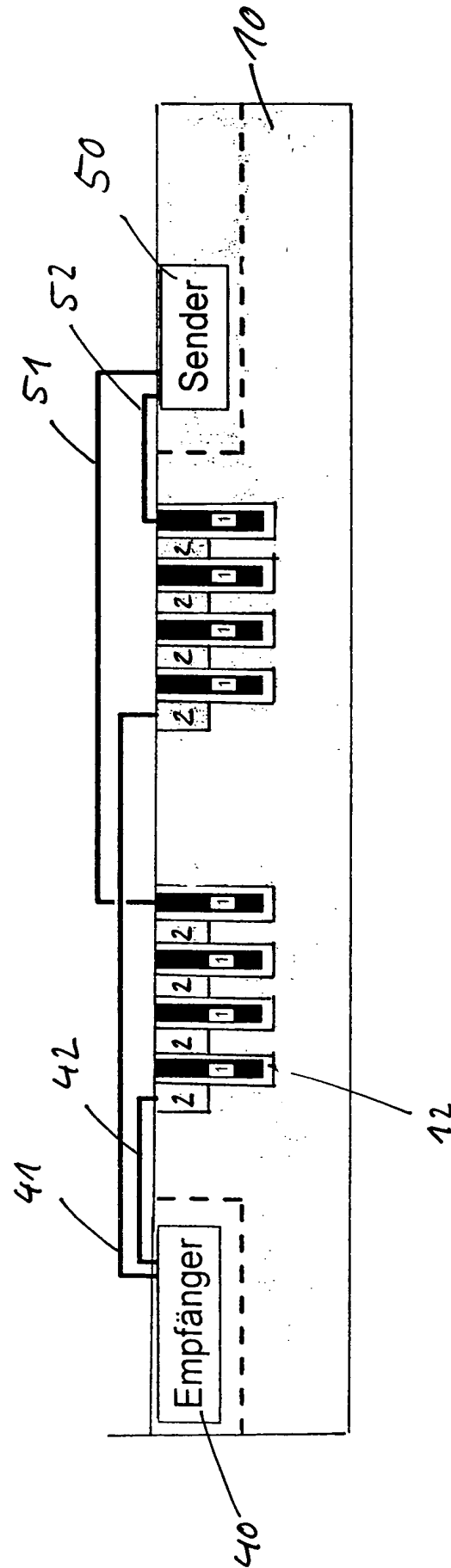


Fig. 6

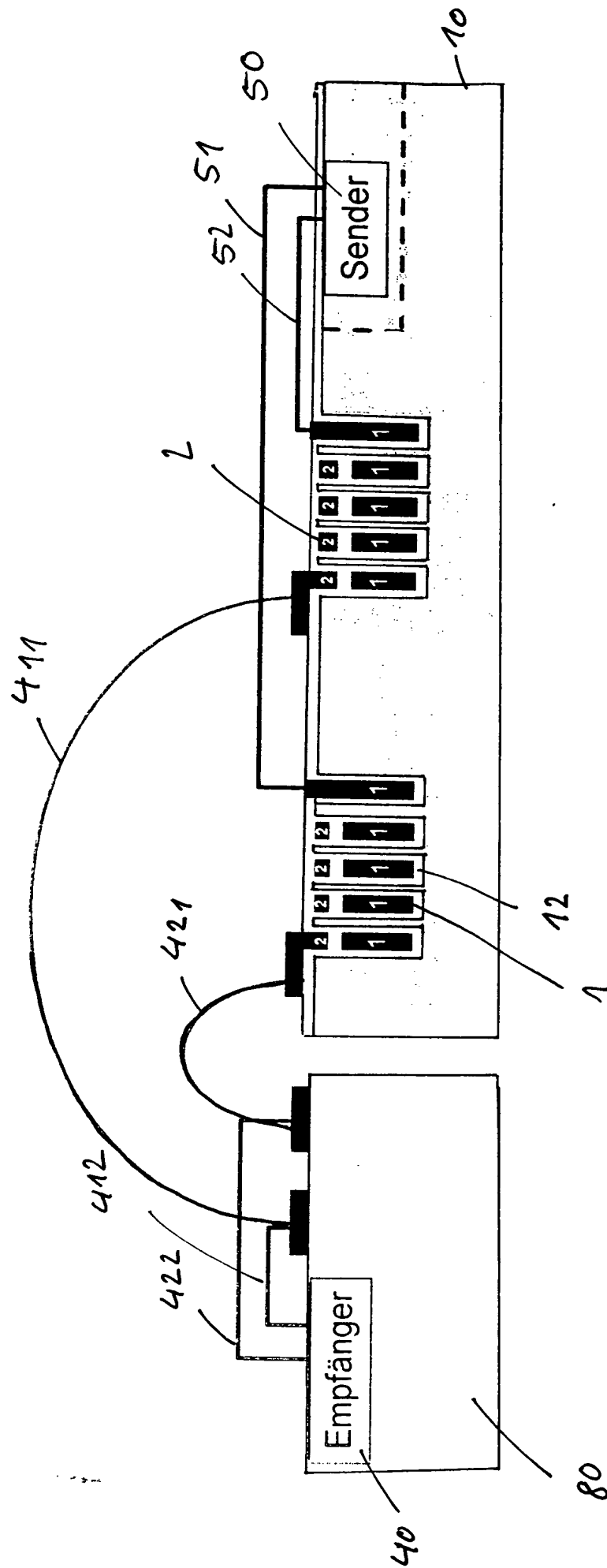


Fig. 7a

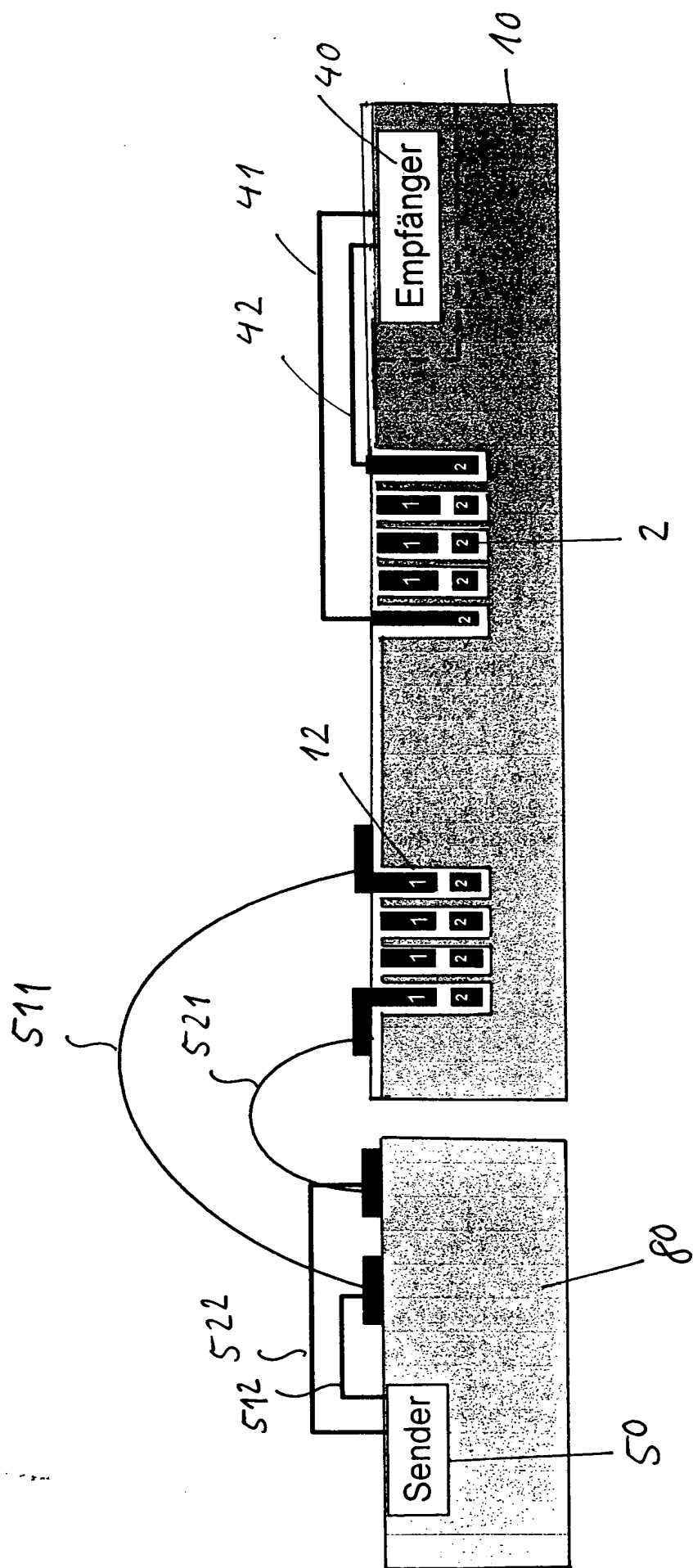


Fig. 7b

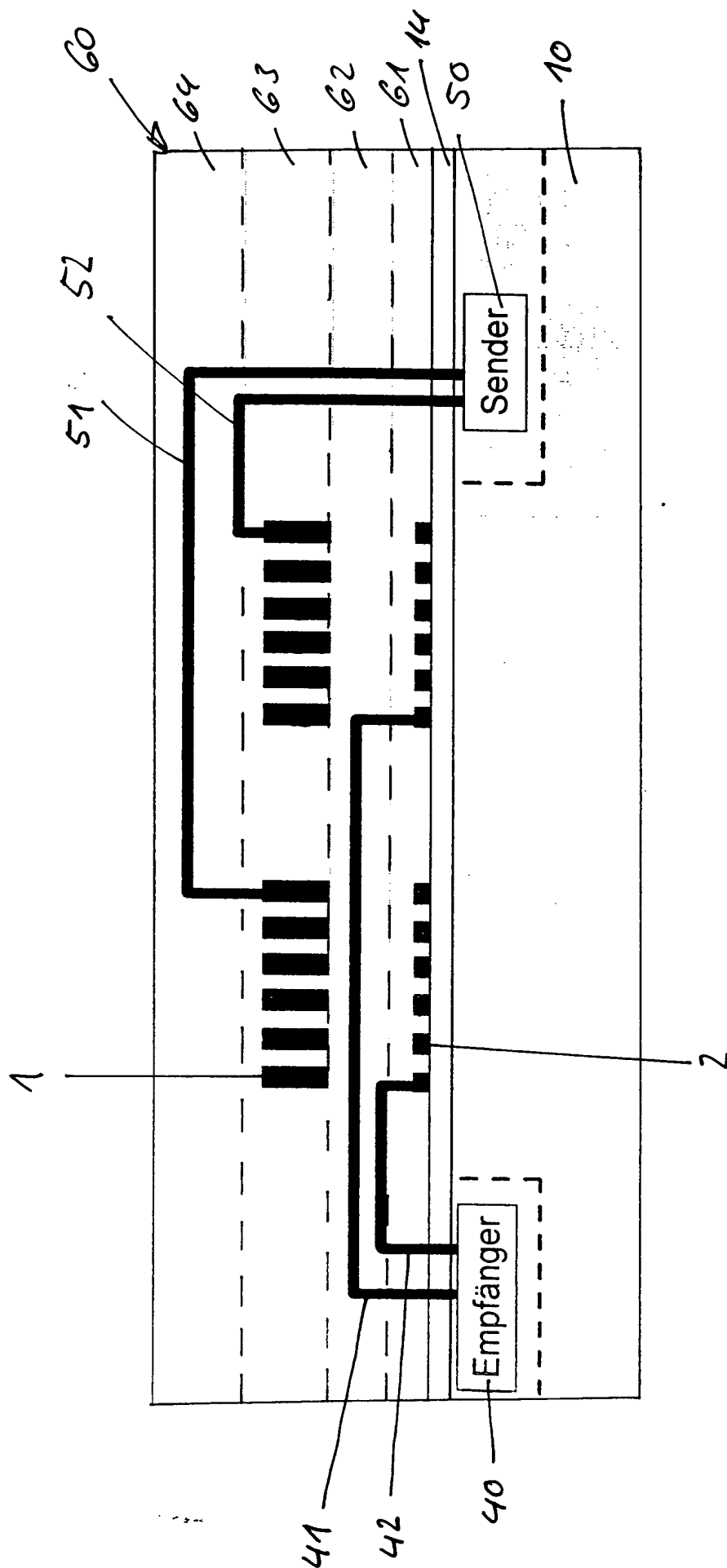
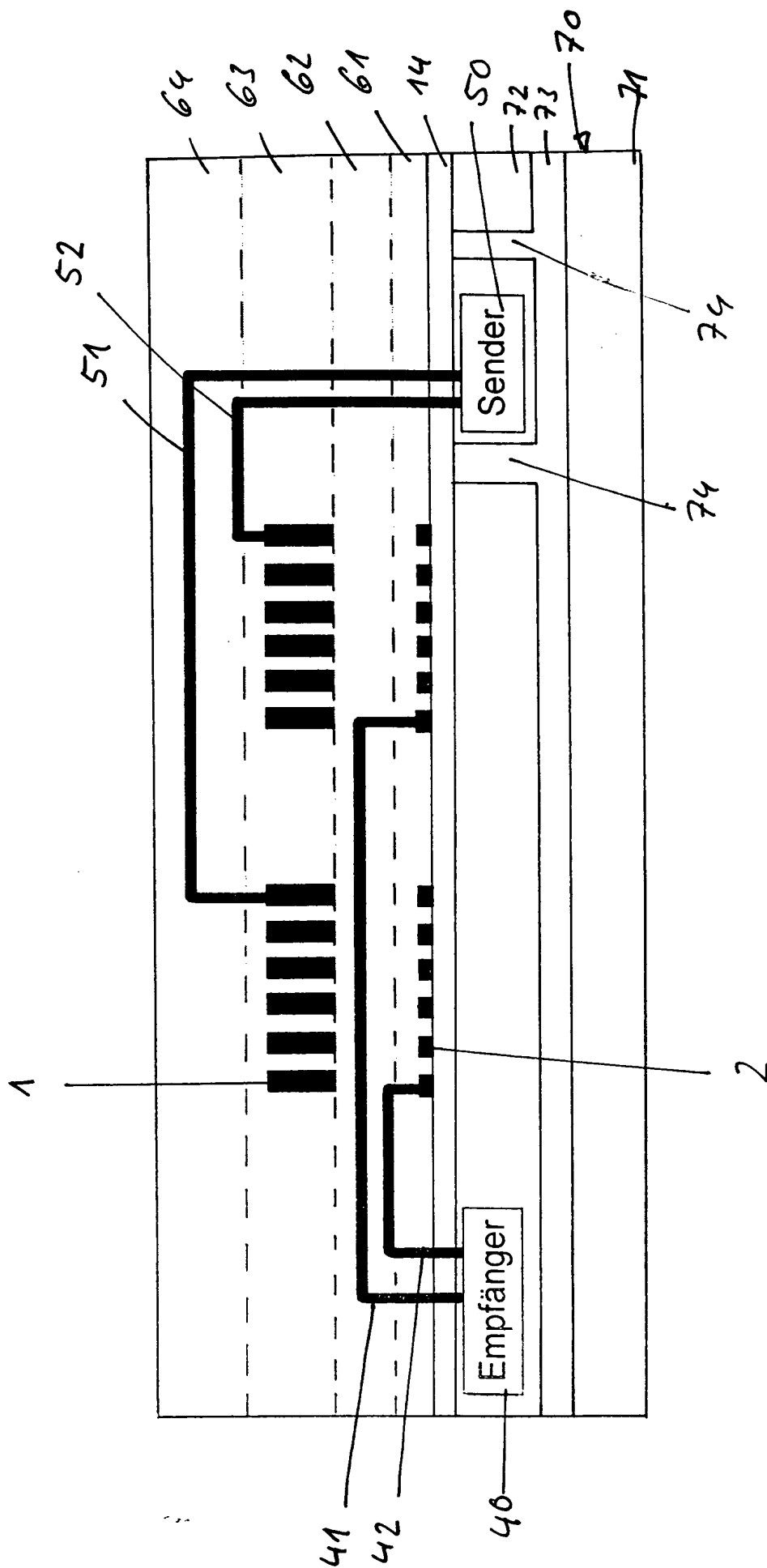


Fig. 8

12115



F16.9

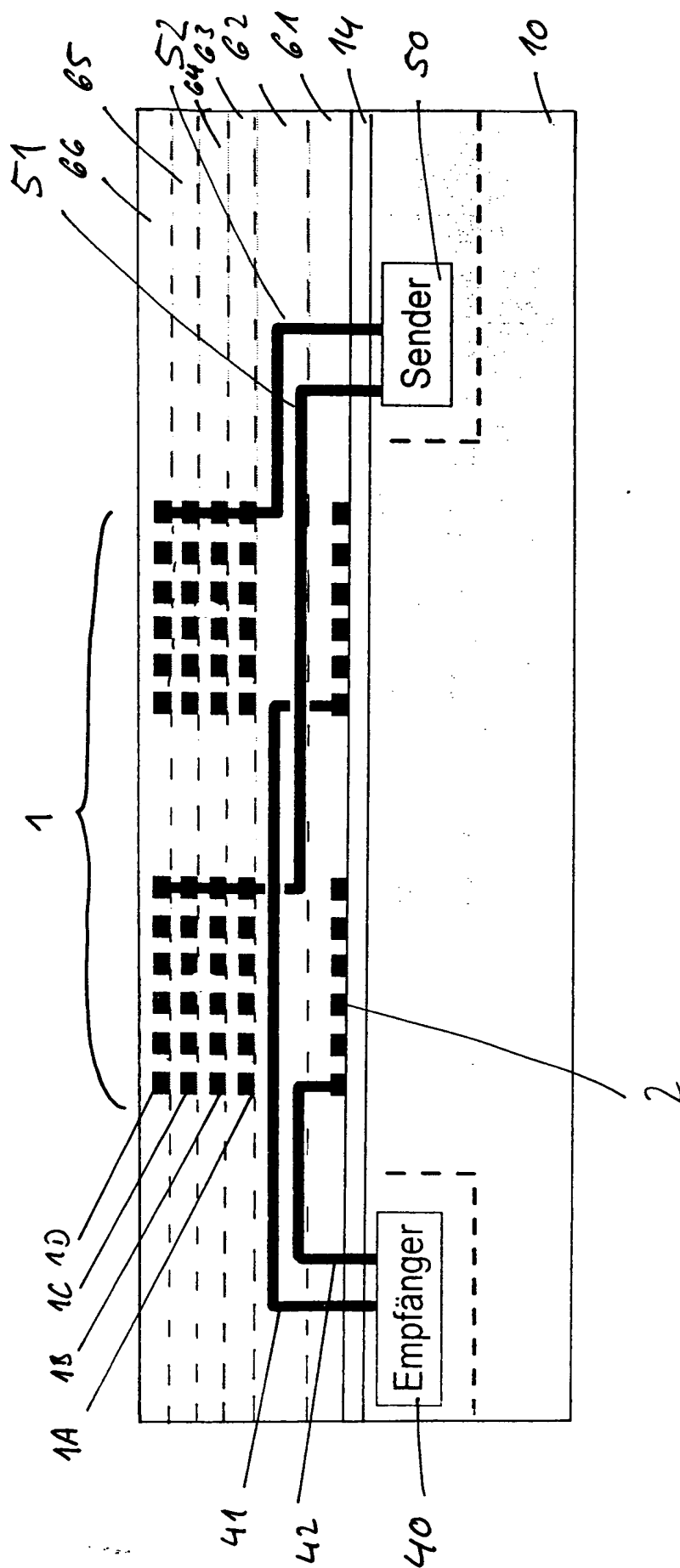


FIG. 11

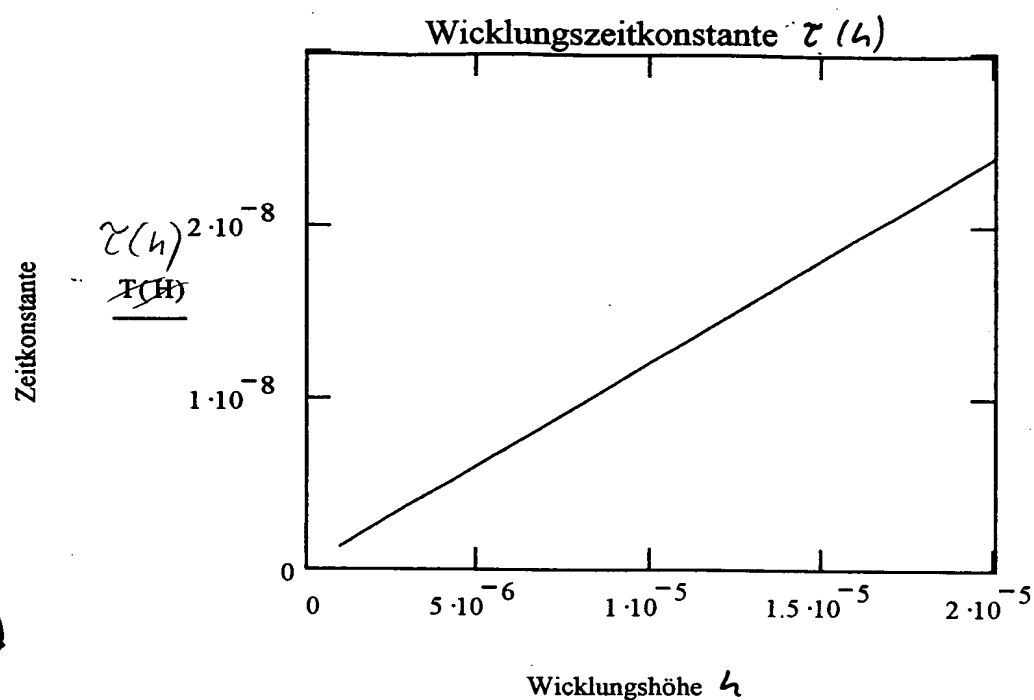


FIG. 12

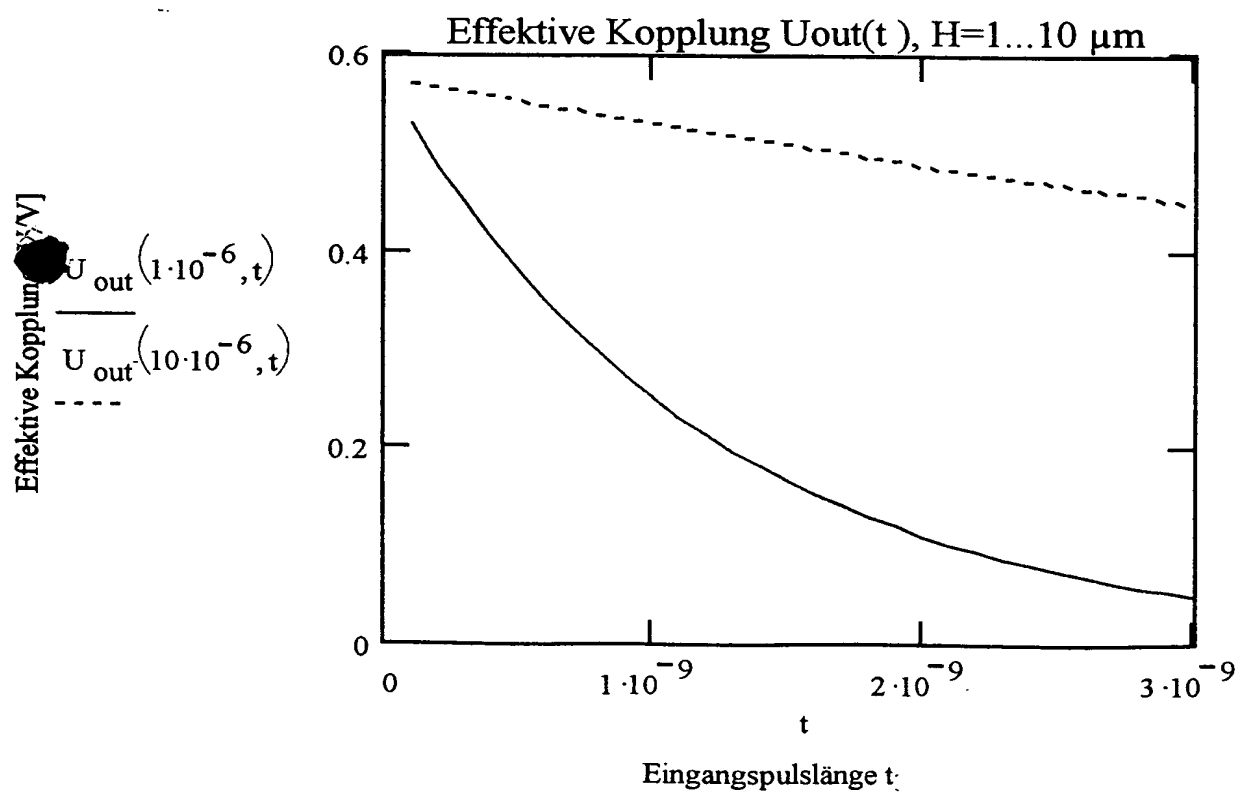


FIG. 13